

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**FAKULTA STROJNÍ**

**KATEDRA ENERGETIKY**



**TEPELNÉ ČERPADLO**

**HEAT PUMP**

**Student: Zdeněk Schee**

**Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

**OSTRAVA 2010**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Zdeněk Schee**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí  
Téma: Tepelné čerpadlo  
Heat Pump

Zásady pro vypracování:

Proved'te návrh vytápění a přípravy TUV s tepelným čerpadlem pro rodinný dům ve vybrané lokalitě.

Práce bude obsahovat:

1. Stav a perspektivy využívání nízkopotenciálního tepla přírodních hmot v ČR.
2. Stanovení tepelné ztráty domu a potřeby tepla pro vytápění a přípravu TUV
3. Návrh tepelného čerpadla a jeho zapojení do otopného systému.
4. Odhad přínosu nasazení TČ z ekonomického a environmentálního hlediska.
5. Grafickou část - Umístění a připojení tepelného čerpadla

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ J., VRTEK M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80-7078-445-8

DVOŘÁK Z., KLAZAR L., PETRÁK J. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.

TURNER W. C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0-13-728098-X.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



  
prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2010



.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2010

.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Zdeněk Schee

Adresa trvalého pobytu autora práce: Antonína Vaška 144, Háj ve Slezsku, 74792

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SCHEE, Z. *Tepelné čerpadlo: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2010, 51 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Bakalářská práce se zabývá návrhem tepelného čerpadla pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody rodinného domu. V první teoretické části (druhá až sedmá kapitola) jsou popsány principy fungování tepelného čerpadla. Dále jsou zde vysvětleny základní pojmy v oblasti zdrojů nízkopotencionálního tepla. Osmá a devátá kapitola se zabývá tepelnými ztrátami a tepelnými potřebami rodinného domu. V desáté kapitole je navrženo vhodné tepelné čerpadlo. Na závěr je projekt hodnocen z ekonomického a environmentálního hlediska.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SCHEE, Z. *Heat pump: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2010, 51 p. Thesis head: Vrtek, M.

Presented bachelor thesis is concerned with design of the heat pump suitable for heating and preparing warm process water of the family house. In the first theoretical part (chapters 2-7) principles of the heat pump functioning are described. Further, basic terms in the area of the low-potential heat sources are explained. Chapters 8 and 9 are concerned with heat losses and heat requirements of the family house. In chapter 10, there is suitable heat pump designed. In the Conclusion, project is analyzed from economical and environmental point of view.

## Obsah

<b>SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....</b>	<b>7</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>10</b>
<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>2. PRINCIP FUNKCE TEPELNÉHO ČERPADLA.....</b>	<b>12</b>
2.1.    KOMPRESOROVÉ TEPELNÉ ČERPADLO.....	12
2.1.1.    Typy kompresorů pro tepelná čerpadla .....	14
2.2.    PRINCIP ABSORPČNÍHO TEPELNÉHO ČERPADLA .....	14
<b>3. TOPNÝ FAKTOR.....</b>	<b>15</b>
<b>4. CHLADIVA PRO TEPELNÁ ČERPADLA.....</b>	<b>16</b>
<b>5. DRUHY TČ PODLE ZDROJE NÍZKOPOTENCIONÁLNÍHO TEPLA .....</b>	<b>16</b>
5.1.    VENKOVNÍ VZDUCH .....	16
5.2.    POVRCHOVÁ VODA .....	18
5.3.    PODZEMNÍ VODA.....	18
5.4.    PODPOVRCHOVÁ VRSTVA ZEMINY .....	19
5.5.    HLUBINNÉ VRTY .....	21
<b>6. DRUHY PROVOZŮ TEPELNÝCH ČERPADEL.....</b>	<b>23</b>
6.1.    ALTERNATIVNĚ BIVALENTNÍ PROVOZ .....	23
6.2.    PARALELNĚ BIVALENTNÍ PROVOZ .....	24
6.3.    ČÁSTEČNĚ PARALELNĚ BIVALENTNÍ PROVOZ.....	24
6.4.    MONOVALENTNÍ PROVOZ .....	24
6.5.    MONOENERGETICKÝ PROVOZ TČ .....	24
<b>7. MNOŽSTVÍ INSTALOVANÝCH TEPELNÝCH ČERPADEL V ČR ZA ROK 2008 .....</b>	<b>24</b>
<b>8. STANOVENÍ TEPELNÉ ZTRÁTY DOMU .....</b>	<b>26</b>
8.1.    POPIS OBJEKTU .....	26
8.2.    TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA .....	26
8.2.1.    Tepelná ztráta prostupem tepla stěnami .....	28
8.2.2.    Tepelná ztráta prostupem tepla přes strop.....	29
8.2.3.    Tepelná ztráta prostupem tepla přes podlahu.....	29
8.2.4.    Tepelná ztráta prostupem tepla přes okna a dveře .....	29
8.2.5.    Celková tepelná ztráta prostupem tepla .....	30
8.3.    TEPELNÁ ZTRÁTA VĚTRÁNÍM .....	30
8.4.    CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA.....	31
<b>9. POTŘEBA TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TUV.....</b>	<b>32</b>
9.1.    POTŘEBA TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ .....	32
9.2.    POTŘEBA TEPLA PRO PŘÍPRAVU TUV .....	32

## TEPELNÉ ČERPADLO

9.3.	CELKOVÁ ROČNÍ POTŘEBA TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TUV .....	34
<b>10.</b>	<b>NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA .....</b>	<b>34</b>
10.1.	STANOVENÍ TEPELNÉHO VÝKONU TČ: .....	34
10.2.	STANOVENÍ PROVOZNÍHO ZPŮSOBU VYTÁPĚNÍ .....	34
10.3.	NÁVRH OTOPNÉHO SYSTÉMU .....	34
10.4.	URČENÍ NÍZKOPOTENCIONÁLNÍHO ZDROJE TEPLA .....	36
10.5.	VOLBA TYPU TČ .....	36
10.6.	VOLBA AKUMULAČNÍ NÁDRŽE A NÁDRŽE PRO PŘÍPRAVU TUV .....	38
10.7.	POTŘEBNÁ PLOCHA PRO PLOŠNÝ KOLEKTOR: .....	38
10.8.	UMÍSTĚNÍ SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ S PŘÍPRAVOU TUV POMOCÍ TČ V OBJEKTU .....	39
<b>11.</b>	<b>SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE TČ .....</b>	<b>40</b>
11.1.	SPOTŘEBA ELEKTŘINY PRO VYTÁPĚNÍ .....	40
11.2.	SPOTŘEBA ELEKTŘINY TČ PRO PŘÍPRAVU TUV .....	41
11.3.	CELKOVÁ ROČNÍ SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TUV .....	42
<b>12.</b>	<b>NÁVRATNOST PROJEKTU .....</b>	<b>42</b>
12.1.	NOVÁ SAZBA CENY ZA ELEKTŘINU .....	42
12.2.	CENA ELEKTŘINY ZA ROČNÍ PROVOZ TČ VČETNĚ SPOTŘEBY DOMÁCNOSTI .....	42
12.3.	CENA ELEKTŘINY ZA SPOTŘEBU DOMÁCNOSTI PŘED INSTALACÍ TČ .....	43
12.4.	CENA ZEMNÍHO PLYNU POTŘEBNÉHO K VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVĚ TUV .....	43
12.5.	POROVNÁNÍ ROČNÍCH NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TUV .....	43
12.6.	INVESTIČNÍ NÁKLADY .....	44
12.7.	NÁVRATNOST PROJEKTU .....	44
<b>13.</b>	<b>POSOUZENÍ ENVIRONMENTÁLNÍHO PŘÍNOSU UŽITÍ TČ PRO VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TUV .....</b>	<b>44</b>
13.1.	PŘÍKLAD VÝPOČTU EMISÍ TČ .....	45
13.2.	PŘÍKLAD VÝPOČTU EMISÍ KOTLE NA ZEMNÍ PLYN .....	46
13.3.	POROVNÁNÍ EMISÍ TČ S KOTLEM NA ZEMNÍ PLYN .....	47
<b>14.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>48</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>51</b>

**Seznam použitého značení**

<b>Symbol veličiny</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>
A	plocha konstrukcí ohraničujících místnost	[m <sup>2</sup> ]
B	charakteristické číslo budovy	[-]
E	roční emise	[kg]
H <sub>s</sub>	objemové spalné teplo	[kWh/m <sup>3</sup> ]
L	délka spár	[m]
M	charakteristické číslo místnosti	[-]
N	počet pracovních dní soustavy v roce	[dny]
N <sub>D02d</sub>	cena 1 MWh v tarifu D02d	[Kč]
N <sub>DOM,SP,D02d</sub>	roční platba za elektřinu za chod domácnosti v D02d	[Kč]
N <sub>DOM,SP,D56d</sub>	roční platba za elektřinu za chod domácnosti v D56d	[Kč]
N <sub>JISTIČ</sub>	měsíční platba za jistič	[Kč]
N <sub>NÍZKÝ</sub>	cena 1 MWh v nízkém tarifu	[Kč]
N <sub>VYSOKÝ</sub>	cena 1 MWh ve vysokém tarifu	[Kč]
N <sub>TČ</sub>	roční platba za provoz TČ	[Kč]
P <sub>1,C</sub>	energie spotřebovaná TČ za rok	[MWh]
P <sub>1,DOM</sub>	energie potřebná pro chod domácnosti za rok	[MWh]
P <sub>1,TUV,L</sub>	příkon TČ pro přípravu TUV v létě	[MWh]
P <sub>1,TUV,TOP</sub>	příkon TČ pro přípravu TUV v topném období	[MWh]
P <sub>1,VYT</sub>	příkon TČ pro vytápění	[MWh]
Q <sub>0</sub>	základní tepelná ztráta	[W]
Q <sub>C</sub>	celková tepelná ztráta	[W]
Q <sub>K</sub>	topný výkon TČ	[kW]
Q <sub>KO</sub>	příkon kompresoru TČ	[kW]
Q <sub>N</sub>	požadavek na topný výkon TČ	[kW]
Q <sub>P</sub>	tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
Q <sub>r</sub>	roční potřeba tepla pro vytápění a přípravu TUV	[MWh]
Q <sub>TUV,d</sub>	denní potřeba tepla pro přípravu TUV	[kWh]
Q <sub>TUV,r</sub>	roční potřeba tepla pro přípravu TUV	[kWh]
Q <sub>TUV,l</sub>	potřeba tepla pro přípravu TUV v letním období	[kWh]
Q <sub>TUV,TOP</sub>	potřeba tepla pro přípravu TUV v topné sezóně	[kWh]
Q <sub>V</sub>	chladicí výkon TČ	[kW]
Q <sub>VET</sub>	tepelná ztráta větráním	[W]



## TEPELNÉ ČERPADLO

$Q_{\text{VYT},r}$	roční potřeba tepla pro vytápění	[MWh]
$Q_{\text{ZP}}$	množství energie dodané kotlem na zemní plyn	[kWh]
$S$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$V_{4P}$	potřebné množství TUV za den	[m <sup>3</sup> /den]
$V_m$	objem větrané místnosti	[m <sup>3</sup> ]
$V_{oH}$	objemový tok větracího vzduchu	[m <sup>3</sup> /s]
$V_i$	objemový tok větracího vzduchu infiltrací	[m <sup>3</sup> /s]
$V_P$	roční spotřeba zemního plynu	[m <sup>3</sup> /rok]
$V_v$	objemový tok větracího vzduchu	[m <sup>3</sup> /s]
$c$	měrná tepelná kapacita vody	[kJ/kg.K]
$d$	počet dní topné sezóny	[dny]
$d_l$	počet dní letní sezóny	[dny]
$f_1$	je koeficient vyjadřující vliv nesoučasnosti výpočetních hodnot uvažovaných při výpočtu $Q_c$	[-]
$h$	entalpie chladiva	[kJ/kg]
$h_O$	výška otvoru	[m]
$h_p$	konstrukční výška patra	[m]
$i_{LV}$	součinitel spárové provzdušnosti	[m <sup>3</sup> /m.s.Pa <sup>-0,67</sup> ]
$k$	součinitel prostupu tepla	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$k_0$	průměrný součinitel prostupu tepla	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$l$	délka stěny	[m]
$l_O$	délka otvoru	[m]
$\dot{m}$	hmotnostní průtok chladiva	[kg/s]
$n$	intenzita výměny vzduchu	[h <sup>-1</sup> ]
$p_1$	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	[-]
$p_2$	přirážka na urychlení zátoku	[-]
$p_3$	přirážka na světovou stranu	[-]
$q_z$	tepelný výkon získaný z m <sup>2</sup> zeminy	[W/m <sup>2</sup> ]
$t_1$	teplota studené vody	[°C]
$t_2$	teplota ohřáté vody	[°C]
$t_e$	výpočtová teplota okolí	[°C]
$t_{es}$	průměrná venkovní teplota	[°C]
$t_i$	výpočtová vnitřní teplota	[°C]
$t_{ies}$	průměrná vnitřní teplota	[°C]

## TEPELNÉ ČERPADLO

$t_{svl}$	teplota studené vody v létě	[°C]
$t_{svz}$	teplota studené vody v zimě	[°C]
$x$	obsah síry v původním vzorku paliva	[mg/m <sup>3</sup> ]
$z$	koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TUV	[-]
$\varepsilon$	topný faktor	[-]
$\varepsilon_l$	průměrný topný faktor v letním období	[-]
$\varepsilon_z$	průměrný topný faktor v topné sezóně	[-]

## **Seznam použitých zkratk**

TČ	tepelné čerpadlo
TUV	teplá užitková voda

## 1. Úvod

Zdrojů, ze kterých je možno vhodným způsobem získávat teplo je v našem okolí mnoho (země, vzduch, voda). Jejich nevýhodou je ale nízký potenciál tohoto tepla. Abychom mohli toto teplo využívat, je nutné jej přečerpat na úroveň využitelnou pro naše potřeby. Právě zde nastupují tepelná čerpadla, která nízkopotencionální teplo ze zdroje převedou na požadovaný stav. Toto teplo je pak většinou využíváno pro vytápění a další tepelné potřeby.

Základní myšlenku principu tepelného čerpadla vyslovil již Lord Kelvin v druhém termodynamickém zákoně. A to v části, která říká, že teplo nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší. První tepelné čerpadlo bylo sestrojeno v čtyřicátých letech minulého století. A to v podstatě náhodou Robertem C. Weberem, který prováděl pokusy s hlubokým zmrazením. Při pokusu se dotkl výstupního potrubí mrazícího zařízení a spálil se. To jej přivedlo na myšlenku, že by toto teplo mohl dále využívat, což se také stalo.

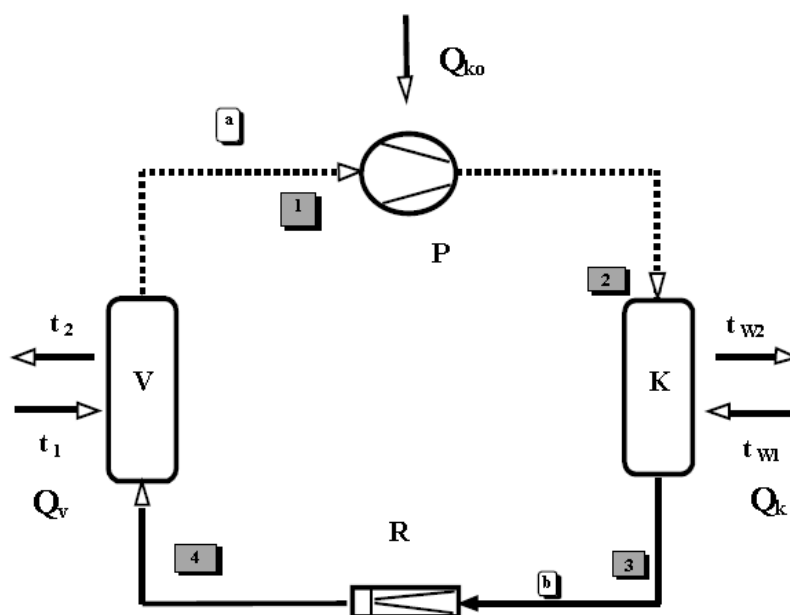
V dnešní době, kdy je nutno dobře hospodařit s energiemi se tepelná čerpadla těší stále větší oblibě. Provozní náklady na vytápění tepelným čerpadlem jsou dosti nižší než náklady u většiny klasických zdrojů vytápění. Výhodou je také to, že se jedná o zcela automatický topný systém.

Tato práce se zabývá návrhem vhodného systému pro vytápění a přípravu TUV, kdy na vytápění a přípravu TUV bude použito právě tepelné čerpadlo. V druhé až šesté kapitole budete zasvěceni do problematiky TČ. Osmá a devátá kapitola se zabývá tepelnými ztrátami objektu a tepelnými potřebami pro vytápění a přípravu TUV. V desáté kapitole je navrženo vhodné tepelné čerpadlo. A v závěru práce je projekt zhodnocen z ekonomického a environmentálního hlediska.

## 2. Princip funkce tepelného čerpadla

### 2.1. Kompresorové tepelné čerpadlo

Hlavními částmi kompresorového TČ jsou výparník, kondenzátor a kompresor. Chladivo, které obíhá v pracovním okruhu, odebírá za nízké teploty a tlaku teplo  $Q_v$  látky s nízkým tepelným potenciálem, jako je např. voda, vzduch a země ve výparníku. Po odebrání nízkopotencionálního tepla se chladivo ve výparníku začne odpařovat. Kompresor toto odpařené chladivo následně stlačí na daný kondenzační tlak. Na tento děj kompresor spotřebuje energii  $Q_{ko}$ . Tímto stlačením stoupne teplota chladiva. Chladivo dále putuje do kondenzátoru a zde předá teplo  $Q_k$  topné vodě a chladivo kondenzuje. Tento cyklus uzavírá redukční ventil, ve kterém se sníží tlak chladiva na původní hodnotu. Na obr. 2.1 je znázorněno schéma tohoto zapojení.

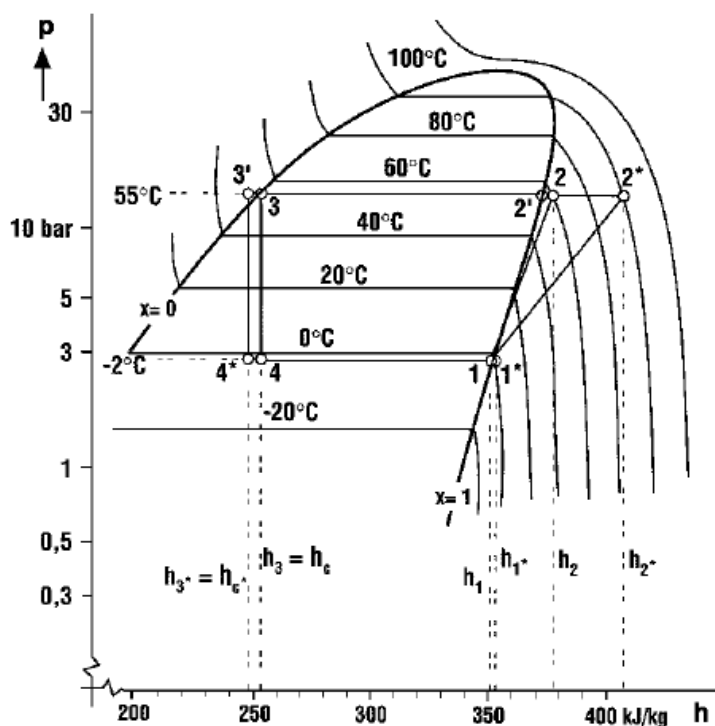


**Obr. č. 2.1** – schéma zapojení kompresorového TČ

Kde: K – kondenzátor; P – kompresor; V – výparník; R – redukční ventil; a – páry chladiva; b – zkondenzované chladivo;

Pro určení efektivnosti přečerpávání energie TČ v daných podmínkách poslouží diagram tepelného cyklu chladiva „log(p) – h“. Diagram pro daný tepelný cyklus teplonosné látky je znázorněn na obr. 2.2.

## TEPELNÉ ČERPADLO



**Obr. č. 2.2** – Diagram tepelného cyklu

Na obr 2.2 jsou znázorněny dva oběhy. První 1-2-3-4 znázorňuje Rankin-Clausiusův obrácený porovnávací cyklus, kde z bodu 1 do bodu 2 probíhá izoentropická komprese a z bodu 3 do bodu 4 probíhá izoentalpická expanze. Tento oběh představuje určitý stupeň přiblížení reálného oběhu k ideálnímu Carnotovu cyklu. Skutečnému pochodu v TČ se více blíží oběh 1\*-2\*-3\*-4\*. Z bodu 1\* do bodu 2\* probíhá polytropická komprese (ve skutečnosti křivka) a z bodu 3\* do bodu 4\* probíhá izoentalpická expanze v redukčním ventilu.

Energie dodaná kompresoru  $Q_{KO}$  pro stlačení chladiva z bodu 1\* do bodu 2\* plus teplo  $Q_V$  odebrané nízkopotencionálnímu zdroji tepla se rovná teplu  $Q_K$ , které je využito pro ohřev topné vody v kondenzátoru.

$$Q_K = Q_{KO} + Q_V \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

Pro hmotnostní průtok chladiva podle diagramu platí:

$$Q_K = \dot{m} \cdot (h_2^* - h_3^*) \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

$$Q_{KO} = \dot{m} \cdot (h_2^* - h_1^*) \quad [\text{kW}] \quad (3)$$

$$Q_V = \dot{m} \cdot (h_1^* - h_4^*) \quad [\text{kW}] \quad (4)$$

Kde:

$h$  je entalpie chladiva [kJ/kg]

$\dot{m}$  je hmotnostní průtok chladiva [kg/s]

### 2.1.1. Typy kompresorů pro tepelná čerpadla

Důležitým a nejdražším prvkem tepelného čerpadla je kompresor. Obvykle je hermeticky uzavřen v ocelové nádobě, takže v tepelném čerpadle ho vlastně neuvidíme. Můžeme se setkat se čtyřmi nejčastějšími typy:

- **TČ s pístovými kompresory** - jsou levnější, mají horší topný faktor a jsou mírně hlučnější. Životnost pístového kompresoru je okolo 15 let; za dobu životnosti TČ je třeba počítat s jednou jeho výměnou.
- **TČ se spirálovými kompresory scroll** - jsou dražší, dosahují však nejlepších topných faktorů. V současnosti je to nejpoužívanější typ. Životnost kompresoru scroll je nejméně 20 let.
- **TČ s rotačními kompresory** - lze se s nimi setkat u klimatizačních zařízení a levnějších TČ. Mají o něco nižší topný faktor než TČ s kompresory scroll.
- **TČ se šroubovými kompresory** Používají se v průmyslových a speciálních aplikacích, zejména tam, kde je potřeba velký výkon. Důvodem je vysoká cena kompresoru.[4]

### 2.2. Princip absorpčního tepelného čerpadla

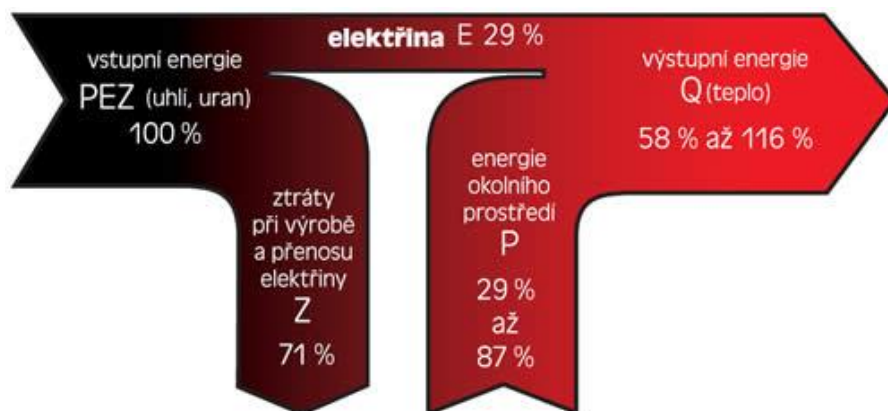
U absorpčních tepelných čerpadel oběh chladiva nezajišťuje kompresor. Hlavními částmi tohoto čerpadla jsou výparník, absorbér, vypuzovač a kondenzátor. Ve výparníku dochází za nízkého tlaku a teploty k odpařování chladiva, kdy chladivo odebírá teplo nízkopotencionálnímu zdroji tepla (vodě, vzduchu,...). Páry jsou nasávány z výparníku do absorbéru následkem pohlcování par absorbentem (vodou) protékajícím absorbérem. Vzniklá směs je pomocí čerpadla dopravena do vypuzovače, kde se chladivo z absorbentu opět vypudí ve formě páry pomocí dodaného tepla. Vypuzená pára má vyšší teplotu a tlak a proudí do kondenzátoru, kde předá teplo a zkapalní. Na závěr chladivo putuje zpět do výparníku přes škrtkový ventil. Absorbent je z vypuzovače přes škrtkový ventil přiváděn do absorbéru. Absorpční tepelná čerpadla mají oproti kompresorovým tepelným čerpadlům větší spotřebu energie, některé zdroje uvádí až 4 krát. Z tohoto důvodu, se zdají být velmi neekonomické.

### 3. Topný faktor

Topný faktor je velmi důležitým parametrem tepelných čerpadel. Vyjadřuje poměr dodaného tepla pro vytápění k množství spotřebované energie kompresorem. Udává míru efektivnosti přečerpávání energie.

$$\varepsilon = \frac{Q_K}{Q_{KO}} = \frac{h_2^* - h_3^*}{h_2^* - h_1^*} \quad [-] \quad (5)$$

Topný faktor se u tepelných čerpadel pohybuje v hodnotách od 2 do 5. Závisí na různých faktorech. Hlavně na typu kompresoru, vstupní a výstupní teplotě. Při výpočtu topného faktoru systému je třeba započít spotřebu oběhových čerpadel, nutných pro provoz tepelného čerpadla.



**Obr. č. 3.1** – využití primární energie v elektrickém tepelném čerpadle

Pro dosažení nejvyšší hodnoty topného faktoru a tím pádem minimální spotřeby tepelného čerpadla je třeba zajistit:

- Co nejvyšší teplotu nízkopotencionálního zdroje tepla, která však není vyšší než maximální povolená teplota udávaná výrobcem pro daný typ tepelného čerpadla.
- Co nejmenší rozdíl teplot na vstupu a výstupu, maximální pracovní teplota tepelného čerpadla je na výstupu cca 55 °C. Je tedy výhodné používat nízkoteplotní vytápěcí systém jako je podlahové vytápění. Menší rozdíl hladin teplot znamená menší množství energie dodané tepelnému čerpadlu pro překonání tohoto rozdílu.

Během roku topný faktor kolísá v závislosti na vstupní a výstupní teplotě tepelného čerpadla. Pro vyhodnocení provozu je třeba znát průměrný roční faktor, což je poměr celoroční spotřeby energie a celoroční výroby tepla. Tepelná čerpadla většinou dodají až třikrát více tepla než energie, kterou spotřebují.



## 4. Chladiva pro tepelná čerpadla

Chladiva použitelná pro tepelná čerpadla jsou rozděleny dle ISO 817 do dvou skupin. A to na jednosložková chladiva a směsi.

Jednosložková chladiva:

- nepřípustná\* –  $\text{CCl}_3\text{F}$  (R11),  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  (R12) a další,
- výběhová\*\* –  $\text{CHClF}_2$  (R22),  $\text{C}_2\text{H}_3\text{ClF}_2$  (R142b),
- alternativní halogenové uhlovodíky –  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$  (R134a),  $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$  (R152a) a další,
- organická chladiva – propan (R290), izobutan (R600) a další,
- anorganická – čpavek (R717), voda (R718),  $\text{CO}_2$  (R744).

Směsi chladiv:

- R404A, složení R125/R134a/R143a (44/4/55 hmot. %),
- R407A, složení R32/R125/R134a (20/40/40 hmot. %),
- R407C, složení R32/R125/R134a (23/25/52 hmot. %),
- R507, složení R125/R143a (50/50 hmot. %),

Na základě Montrealského protokolu o ochraně ozónové vrstvy v roce 1987 se evropské státy dohodly, že chladiva označená (\*) je zakázáno vyrábět a uvádět na trh. Chladiva označená (\*) je zakázáno vyrábět a uvádět na trh po 1.1.2010 podle nařízení EU. Některé státy včetně České Republiky se dohodla o zkrácení této lhůty a zákaz prodeje TČ s R22 od 1.1.2004.

Požadavky na chladiva (při nízkých teplotách):

- nízký kompresní poměr,
- co nejmenší přehřátí par na výtlaku,
- vysoká objemová chladivost,
- nízký kondenzační tlak.

## 5. Druhy TČ podle zdroje nízkopotencionálního tepla

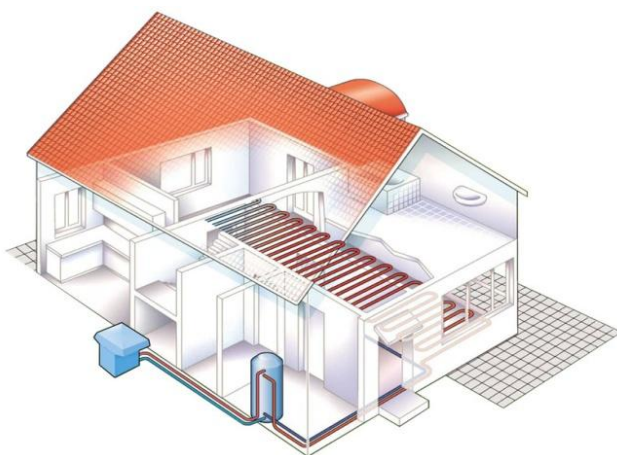
### 5.1. Venkovní vzduch

Vzduch je nejdostupnějším zdrojem nízkopotencionálního tepla a jeho objem je praktický neomezený. Jeho využití má nejmenší vliv na okolní prostředí, protože teplo odebrané vzduchu ve výparníku mu je navraceno ve formě tepelných ztrát objektu. Topný faktor TČ ovlivňuje teplota venkovního vzduchu. Čím nižší je tato teplota tím nižší je topný faktor TČ. Právě toto je jedna z nevýhod, jelikož právě při nízkých teplotách

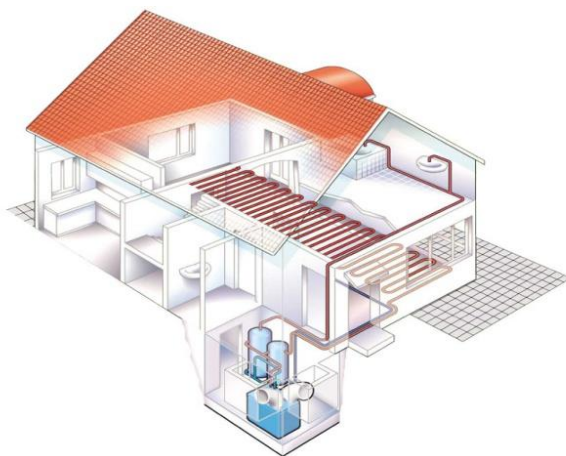
## TEPELNÉ ČERPADLO

potřebujeme nejvíce vytápět. Dnešní TČ dokážou pracovat při venkovních teplotách kolem  $-20^{\circ}\text{C}$ . Jsou většinou provozovány v částečně paralelně bivalentním nebo alternativně bivalentním provozu (viz. Kap. 6.). Hlavní výhodou je snížení investičních nákladů na systémy TČ vzduch/voda, vzduch/vzduch, protože odpadá nutnost instalace zemních kolektorů nebo hlubinných vrtů. Instalace je tedy rychlá a levná. Nevýhodou je nižší životnost a vyšší hlučnost než u ostatních TČ.

TČ může být v provedení vnějším, kdy je jednotka mimo budovu, například na fasádě, na střeše nebo i ve volném terénu. Nejlépe na jižní straně objektu. Zajišťuje odebrání tepla z okolního vzduchu a vrácení ochlazeného vzduchu zpět do prostoru. U vnitřního provedení je jednotka umístěna uvnitř budovy a výměna vzduchu probíhá potrubím do pláště budovy. Vnější jednotka nebo průduchy vnitřní jednotky by měly být umístěny tak, aby se ochlazený vzduch znovu nevracel do nasávání, což by snižovalo výkon TČ. Průtok čerstvého vzduchu TČ je cca.  $5.000\text{ m}^3$  za hodinu. [13]



**Obr. č. 5.1** venkovní provedení TČ je mimo budovu ve volném terénu



**Obr. č. 5.2** vnitřní provedení TČ je umístěno uvnitř budovy

## 5.2. Povrchová voda

Při využití povrchové vody jako zdroje nízkopotencionálního tepla musí tato voda splňovat tyto parametry – příznivé složení, čistotu, teplotu a množství. Problémem je většinou čistota a teplota v zimním období. Teplo z povrchové vody je odebíráno nepřímo pomocí plastového kolektoru. Tento kolektor je umístěn ve vodním toku nebo nádrži a to minimálně v dvoumetrové hloubce. Teplota povrchových vod se na našem území v zimním období pohybuje okolo 4°C. To je velká nevýhoda, jelikož TČ tuto vodu ochladí právě až o 4°C a může se stát, že výparník bude namrzat. V tomto případě musí být TČ vybaveno výparníkem odolávajícím poškození při namrznutí. Dalším problémem zvyšujícím možnost poškození plastového kolektoru může být výraznější změna hladiny, povodně a mechanické úpravy vodního toku (odbahnění).

Při použití plošného plastového kolektoru odebírajícího teplo z povrchové vody vodního toku je třeba zažádat o povolení správce povodí, do kterého vodní tok spadá. Náklady na pořízení plošného plastového kolektoru pro odběr tepla z povrchové vody jsou nižší než náklady na horizontální zemní kolektor. Topný faktor je také celkem vysoký během celého roku. Na pokrytí 1kW tepelného výkonu TČ je zapotřebí cca 35 m<sup>2</sup> kolektorové plochy.

TČ odebírající teplo z povrchové vody je vhodné dimenzovat na pokrytí přibližně 70% tepelné ztráty objektu. V případě zvýšené potřeby energie, se v kratších obdobích velmi nízkých teplot, spíná náhradní zdroj, obvykle elektrokotel. U nízkoenergetických objektů s malou tepelnou ztrátou se vyplatí i monovalentní soustava, tedy vytápění pouze TČ. [13]

## 5.3. Podzemní voda

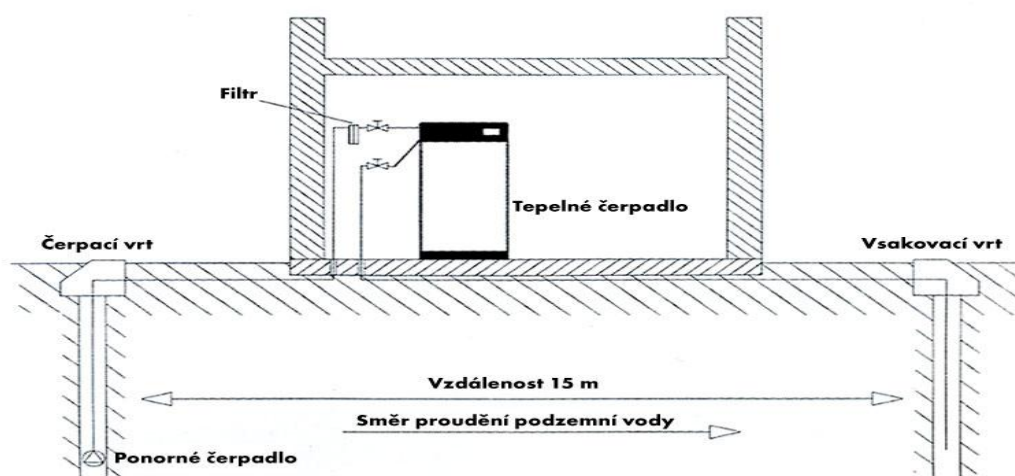
Podzemní voda je nejvýhodnějším zdrojem tepla pro TČ. Během roku má stálou teplotu, která se pohybuje okolo 10°C. Podzemní voda také většinou neobsahuje žádné chemické a mechanické nečistoty. V tomto případě je voda ze studny nebo hydrogeologického vrtu zavedena přímo do TČ. V případě kdy obsah minerálních látek překročí 300 mg/l je třeba pro předávání energie z podzemní vody použít zvláštní okruh s teplonosnou kapalinou a deskovým výměníkem.

V TČ se voda ochlazuje o 4°C a poté se vrací do vsakovací studny. Hydrogeologické vlastnosti hornin vsakovací studny by měly odpovídat vydatnosti zdrojové studny. Kdyby se ochlazená voda vracela zpět do zdrojové studny, rychle by ochladila vodu této studny, což by vedlo k znehodnocení zdroje tepla. Také není vhodné ochlazenou vodu odvádět do vodních toků nebo kanalizací. Mohlo by dojít k narušení rovnováhy podzemní vody. Zdroj

## TEPELNÉ ČERPADLO

podzemní vody musí mít vydatnost minimálně 0,5 l/s, dále musí být příznivé hydrogeologické podmínky a to hlavně dobrá propustnost podloží. Vhodné podloží jsou pískovce, šterky, zkrasovatělé vápence, silně rozpukané vyvřelé či metamorfované horniny.

Hydrogeologické vrty se hloubí velkými průměry (více než 220mm). Při vrtání je třeba dbát na to, aby nebyly propojeny jednotlivé zvodněné vrstvy (zvodně) na různých úrovních. Ověřování vydatnosti vrtů a zvodní se provádí pomocí čerpacích, stoupacích a nálevních zkoušek. Reprezentativní zkoušky jako podklad pro vodohospodářské řízení jsou vyžadovány v trvání minimálně 21 dní. [13]



Obr. č. 5.3 – schéma hydrogeologických vrtů

### 5.4. Podpovrchová vrstva zeminy

Při odebírání nízkopotencionálního tepla z podpovrchové vrstvy zeminy se používá horizontálních kolektorů. Kolektory se instalují až do hloubky 2 metrů, v této hloubce zemina v zimě nezamrzá, ale její teplota během roku kolísá v závislosti na teplotě okolního vzduchu. V kolektorech obíhá teplotonosná nemrznoucí kapalina, která teplo odebrané zemině předává chladiči TČ ve výparníku. Oběh nemrznoucí kapaliny v kolektoru je zajištěn oběhovým čerpadlem. Kolektory bývají zhotoveny s plastových trubek či hadic. Trubky se ukládají v uspořádání plošného kolektoru obr. č. 5.4 nebo v uspořádání spirálového kolektoru obr. č. 5.5. TČ odebírající teplo z podpovrchové vrstvy zeminy jsou většinou provozovány v paralelně bivalentním provozu (viz. Kap. 6.). Monovalentní provoz je výhodný jen pro objekty s malou tepelnou ztrátou.

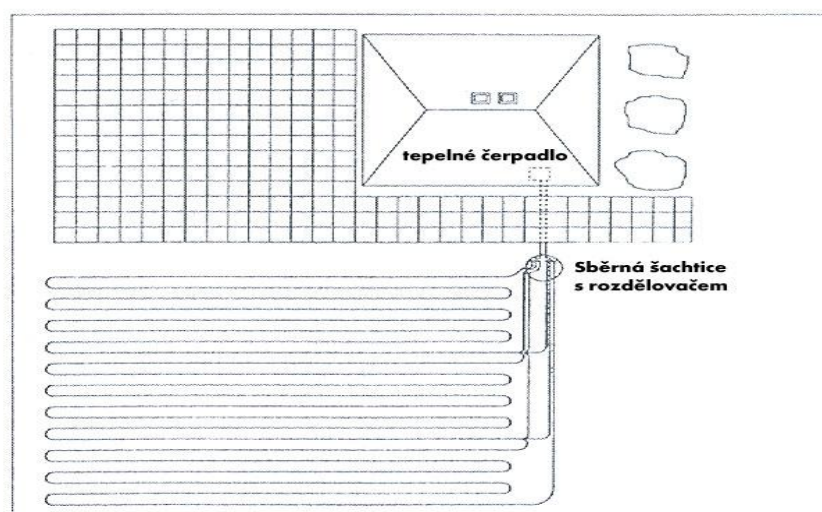
## TEPELNÉ ČERPADLO

Plošné kolektory:

Do přibližné metrové hloubky jsou v metrové rozteči uloženy do meandrového tvaru plastové trubky. Výkop je prováděn v šířce cca 30 cm na ploše odpovídající přibližně 2 až 2,5 násobku vytápěné podlahové plochy. Hlavní nevýhodou plošného kolektoru je náročnost na nezastavěnou plochu, na které už není možno nic stavět. Dimenzování potřebné plochy kolektoru se věnuje následující tabulka č. 5.1.[10]

Vlastnosti půdy	Získaný výkon [w/m <sup>2</sup> ]	Plocha výměníku [m <sup>2</sup> ] na kW topného výkonu při $\varepsilon=3$
Suchá nezpevněná půda	10	66
Ulehlá vlhká půda	20-30	33-22
Vodou nasycené štěrky a písky	40	17

**Tab. č. 5.1**



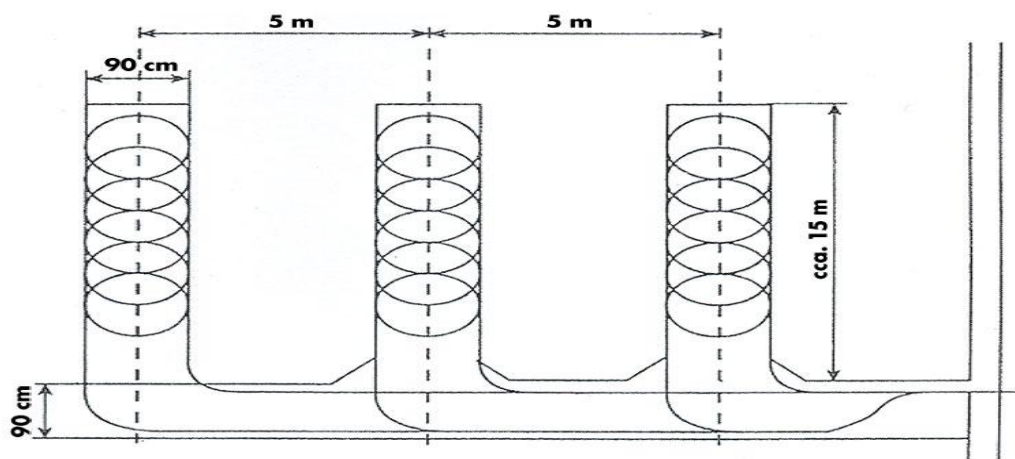
**Obr. č. 5.4** – schéma plošného zemního kolektoru

Spirálové kolektory:

Tento druh kolektorů se ukládá do větší hloubky než plošný kolektor - přibližně do 2 metrů. Šířka výkopu je cca 90 cm. Na jeden běžný metr výkopu připadá 10 metrů plastového potrubí, které je na dno výkopu uloženo ve spirálách. Osová vzdálenost jednotlivých výkopů musí být minimálně 5 metrů. Tento druh kolektorů vzhledem ke spirálovému uložení vyžaduje méně plochy pozemku než plošné výměníky, vzhledem k

## TEPELNÉ ČERPADLO

vyššímu podchlazování menší plochy se však hodí pouze do sušších půd. Při dimenzování spirálových výměníků platí orientační hodnota získaného tepla přibližně 100 W na 1 metr výkopu. [13]



**Obr. č. 5.5** – schéma spirálového zemního kolektoru

Kolektory jsou ukládány do pískového lože a zasypány vrstvou písku, aby byla zajištěna ochrana před proražením kolektoru. Při ukládání je nutné dodržet předepsané vzdálenosti od kanalizací, základů budovy a podzemních vedení ve všech případech je min. vzdálenost 1,5 metru. Kolektory je také nutné vybavit odvzdušňovacím zařízením.

Vliv na vegetaci nad kolektorem by neměl být moc velký, protože jsou instalovány v nezámrazné hloubce a jsou zásepem izolovány oproti povrchu.

Pro rodinné domy s menší tepelnou ztrátou možností zabránění plochy pro horizontální kolektor je odběr tepla s podpovrchové vrstvy zeminy velmi vhodný. Investiční náklady na pořízení plošného kolektoru jsou nižší než náklady na pořízení hlubinného vrtu. Jeden metr výkopu včetně kolektoru stojí cca 150,- Kč.

### 5.5. Hlubinné vrtý

Při odebrání nízkopotencionálního tepla ze zemské kůry se používá kolektorů. Kolektory se instalují do jednoho nebo více vrtů hlubokých 40 až 150 metrů. Vrtý by od sebe měly být vzdáleny minimálně 10 metrů, aby se vzájemně neochlazovaly. Do vrtu jsou instalovány vždy dvě polyetylenové smyčky ve tvaru U. Ve smyčkách obíhá nemrzoucí teplotonosná kapalina, která odebírá geotermální teplo v okolí vrtu. Toto teplo pak předává ve výparníku chladivu TČ. Oběh nemrzoucí kapaliny v kolektoru je zajištěn oběhovým čerpadlem. TČ odebírající geotermální teplo země jsou většinou provozovány v paralelně

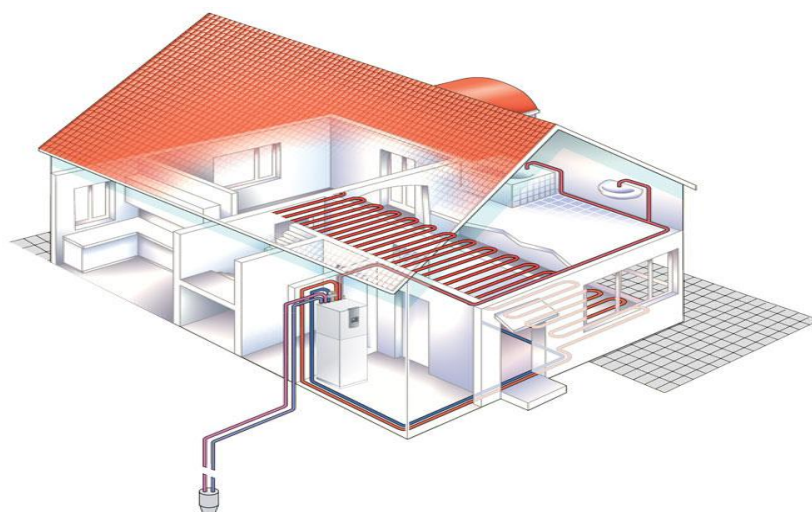
## TEPELNÉ ČERPADLO

bivalentním provozu (viz. Kap. 6.). Monovalentní provoz je výhodný jen pro objekty s malou tepelnou ztrátou.

V hlubinných vrtech je během roku stálá teplota. TČ využívající hlubinných vrtů jsou výkonově stabilní. Investiční náklady na hlubinné vrty jsou však dosti vysoké. Metr vrtu včetně kolektoru stojí cca 1000,-Kč. Hloubka vrtu závisí na požadovaném výkonu TČ a na geologických podmínkách v místě vrtu viz tab. č. 5.2. Vhodné je systém vytápění navrhnout tak, aby bylo v létě možné tento systém využívat jako klimatizaci. Díky tomuto opačnému chodu systému dojde k akumulaci tepla v masivu v okolí vrtu, které využijeme v následujícím topném období. Vrt tak chráníme proti tepelnému vyčerpání.

<b>Hornina</b>	<b>Získaný výkon[W/m]</b>	<b>Hloubka vrtu [m] na kW topného výkonu při <math>\epsilon=3</math></b>
Suché nezpevněné horniny	20	33
Pevné horniny nebo vodou nasycené	50	13
Štěrký písky, suché	20	33
Štěrký písky, zvodnělé	55-65	10-12
Hlíny a jíly, vlhké	30-40	17-22
Pískovec	55-65	10-12
Žuly	60-70	9,5-11

**Tab. č. 5.2**

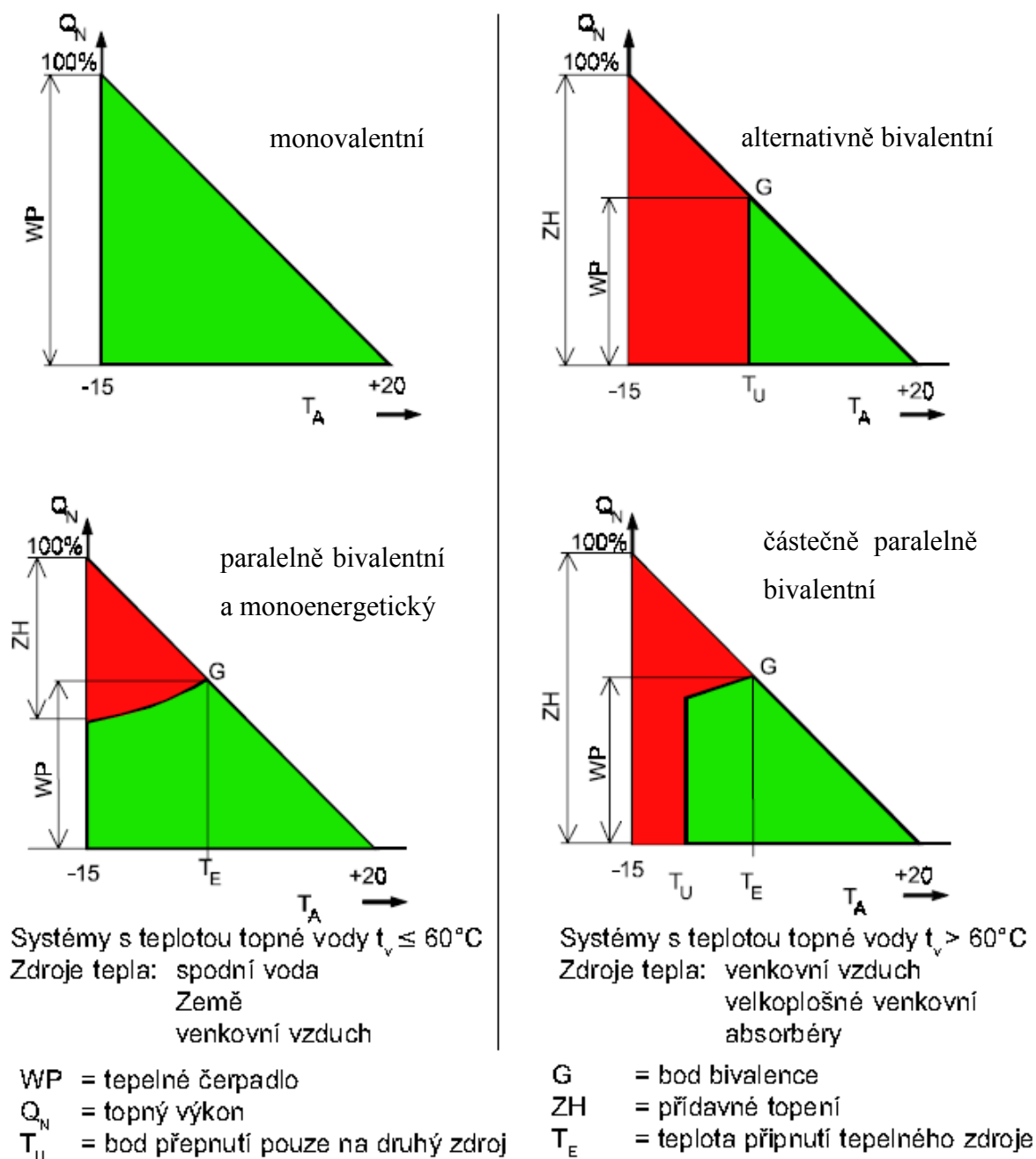


**Obr. č. 5.6 – schéma vertikálního zemního kolektoru**



## 6. Druhy provozů tepelných čerpadel

Na níže uvedeném obrázku č. 6.1 jsou znázorněny všechny možné druhy provozů TČ.



Obr. č. 6.1 – druhy provozů TČ [9]

### 6.1. Alternativně bivalentní provoz

TČ pokrývá celkové potřeby tepla jen do určité teploty, od které jeho tepelný výkon není schopný pokrýt celkovou potřebu tepla. Při této teplotě se TČ vypne a je nahrazeno jiným zdrojem tepla. Tento provoz je vhodný pro všechny vytápěcí systémy s teplotou topné vody do  $90^\circ\text{C}$ . [12]



## 6.2.Paralelně bivalentní provoz

TČ pokrývá celkové potřeby tepla jen do určité teploty, od které jeho tepelný výkon není schopný pokrýt celkovou potřebu tepla. Při této teplotě se k TČ připne jiný zdroj tepla, který pokrývá zbylou tepelnou potřebu. Tento provoz je vhodný pro podlahové vytápění a radiátorové vytápění s teplotou topné vody max. 60°C. [12]

## 6.3.Částečně paralelně bivalentní provoz

Stejně jako v předchozích případech TČ pokrývá celkové potřeby tepla jen do určité teploty. Od této teploty se k TČ připne jiný zdroj tepla. Oba systémy pracují zároveň až do chvíle, kdy TČ není schopno produkovat teplou vodu o teplotě topné vody. V tuto chvíli se TČ vypne a teplo obstarává jen bivalentní zdroj. Tento provoz je vhodný pro radiátorové vytápění s teplotou topné vody nad 60°C.

## 6.4.Monovalentní provoz

Používá se u objektů s malou tepelnou ztrátou do 10 kW, kdy se nám neprodrazí navržení tepelného čerpadla tak aby pokrylo celou tuto ztrátu. Tepelné čerpadlo je pak jediný zdroj tepla. Tento provoz je vhodný pro nízkoteplotní vytápěcí systémy s teplotou topné vody max. 60°C.

## 6.5.Monoenergetický provoz TČ

Při tomto způsobu TČ obsahuje integrovaný elektrokotel. Elektrokotel pak pokrývá potřeby tepla, na které při nízkých teplotách samotný výkon TČ nestačí. Tento provoz je vhodný pro systémy s teplotou topné vody max. 60°C.

## 7. Množství instalovaných tepelných čerpadel v ČR za rok 2008

Ministerstvo průmyslu a obchodu provedlo v první polovině roku 2009 statistické šetření, na jehož základě lze zpřesnit odhad o dodávce a instalaci tepelných čerpadel v roce 2008. Z dostupných informací vyplývá, že v roce 2008 bylo na český trh dodáno zhruba 4 000 tepelných čerpadel o celkovém výkonu přes 55 MW. To je výrazný nárůst oproti roku předchozímu, kdy bylo dodáno 3 600 tepelných čerpadel o tepelném výkonu zhruba 49 MW.[8]

Zpracováním došlých dotazníků byly zjištěny následující souhrnné a průměrné hodnoty. Podotýkáme, že se jedná o informace za firmy, které dle odhadu zauímají cca 65% pozici na trhu.[8]

## TEPELNÉ ČERPADLO

	Počet	Podíl [%]	Tepelný výkon [kW]	Podíl [%]	Průměrný výkon [kW]
Vzduch-vzduch	60	2,27%	787	2,20%	13,1
Vzduch-voda	1150	43,53%	15 173	42,35%	13,2
Země-voda	1381	52,27%	18 764	52,38%	13,6
Voda-voda	51	1,93%	1 101	3,07%	21,6
Jiné	0	0,00%	0	0,00%	0,0
<b>Celkem</b>	<b>2 642</b>	<b>100,00%</b>	<b>35 826</b>	<b>100,00%</b>	<b>13,6</b>

**Tab. 7.1** – Dodávka tepelných čerpadel na trh podle typu (vybrané firmy)

	Počet	Tepelný výkon [kW]
Vzduch-vzduch	60	787
Vzduch-voda	1 769	23 343
Země-voda	2 125	28 868
Voda-voda	78	1 694
Jiné	0	0
<b>Celkem</b>	<b>4 032</b>	<b>54 692</b>

**Tab. 7.2** – Odhad celkové dodávky tepelných čerpadel v roce 2008

Sektor	Počet celkem	Instalovaný tepelný výkon [kW]	Průměrný tepelný výkon [kW]
Domácnosti	2 356	28 321	12,0
Státní správa, obecní a městská zařízení, nekomerční sféra, školství ...	144	2 775	19,3
Podnikatelský sektor, energetika, průmysl, zemědělství, obchod, služby atp.	142	4 730	33,2
Ostatní	0	0	0
<b>Celkem</b>	<b>2 642</b>	<b>35 826</b>	<b>13,6</b>

**Tab. 7.3** – Skutečně instalovaná tepelná čerpadla podle sektoru (vybrané firmy)

## 8. Stanovení tepelné ztráty domu

Výpočet tepelných ztrát byl uskutečněn pomocí normy ČSN 060210.

Níže uvedený výpočet je zpracován pro jednu místnost domku a to dětský pokoj. Celý výpočet je pak obsažen v přílohách 1 až 3.

### 8.1. Popis objektu

Jedná se o jednopodlažní rodinný domek. Domek nemá žádný sklep. Podkroví se dá použít pouze jako skladovací prostor, s nosností  $100 \text{ kg/m}^2$  a teplotou  $-6^\circ\text{C}$  při teplotě okolí  $-15^\circ\text{C}$ . Objekt se nachází v Háji ve Slezsku, tato teplotní oblast má výpočtovou teplotu  $-15^\circ\text{C}$ . Objekt je určen k rodinnému bydlení, nachází se v něm jen jedna bytová jednotka. Je navržen k trvalému pobytu **čtyř osob**.

### 8.2. Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelná ztráta prostupem tepla  $Q_p$  se určí ze vztahu:

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad [\text{W}] \quad (6)$$

kde:

$Q_o$	je základní tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$P_1$	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	[-]
$p_2$	přirážka na urychlení zátoku	[-]
$p_3$	přirážka na světovou stranu	[-]

Základní tepelná ztráta  $Q_o$  je dána součtem tepelných toků prostupem tepla v ustáleném tepelném stavu jednotlivými konstrukcemi ohraničujícími vytápěnou místnost od venkovního prostředí nebo od sousední místnosti s nižší teplotou.

$$Q_o = k_1 \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{e1}) + k_2 \cdot S_2 \cdot (t_i - t_{e2}) + \dots + k_n \cdot S_n \cdot (t_i - t_{en}) \quad [\text{W}] \quad (7)$$

kde:

$S_1, S_2, \dots, S_n$	je plocha ochlazované části konstrukce	$[\text{m}^2]$
$k_1, k_2, \dots, k_n$	součinitel prostupu tepla	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$t_i$	výpočtová vnitřní teplota	$[\text{°C}]$
$t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{en}$	výpočtová teplota venkovního prostředí	$[\text{°C}]$

## TEPELNÉ ČERPADLO

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí  $p_1$  umožňuje zvýšení teploty vnitřního vzduchu tak, aby i při nižší povrchové teplotě ochlazovaných konstrukcí bylo ve vytápěné místnosti dosaženo požadované výpočtové vnitřní teploty.

Stanoví se ze vztahu:

$$p_1 = 0,15 \cdot k_o \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (8)$$

Kde:

Průměrný součinitel prostupu tepla  $k_o$  všech konstrukcí dané místnosti se stanoví se ze vztahu:

$$k_o = \frac{Q_o}{\sum A \cdot (t_i - t_e)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (9)$$

kde:

$\sum A$  celková plocha konstrukcí ohraničujících místnost [m<sup>2</sup>]

$t_i$  výpočetní teplota vnitřní [°C]

$t_e$  výpočetní teplota vnější [°C]

S přírážkou na urychlení zátupu  $p_2$  počítáme pouze v případě kdy ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění. V tomto případě s ní tedy nepočítáme.

O výši přírážky na světovou stranu  $p_3$  rozhoduje poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce. Při více ochlazovaných konstrukcích rozhoduje poloha jejich společného rohu. Hodnoty přírážky jsou v tabulce 1.1.

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přirážka	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

**Tab. 8.1** - přírážky na světovou stranu

## TEPELNÉ ČERPADLO

konstrukce	Koeficient prostupu tepla k [W/(m <sup>2</sup> .K)]
Obvodová stěna	0,28
Podlaha přiléhající k zemině	0,4
Ochlazovaný strop (podhled)	0,2
Okna	1,1
Dveře	1,4
Garážová vrata	1,6
Dvířka do podkroví	1,1

**Tab. 8.2** - Součinitel prostupu tepla je odečten z technické zprávy domu

### 8.2.1. Tepelná ztráta prostupem tepla stěnami

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (7)

$$Q_o = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 0,28 \cdot 11,4981 \cdot (20 - (-15)) = 112,6814W$$

$$S = S_s - S_o = l \cdot h_p - l_o \cdot h_o = 4,54 \cdot 2,88 - 1,185 \cdot 1,35 = 11,4981m^2$$

Kde:

$S_s$  plocha stěny [m<sup>2</sup>]

$S_o$  plocha otvoru [m<sup>2</sup>]

$l$  vnitřní délka stěny [m]

$h_p$  konstrukční výška patra [m]

$l_o, h_o$  délka a výška otvoru [m]

Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla:

Dle vzorce (6)

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 112,6814 \cdot (1 + 0,042 + 0 + 0) = 117,414W$$

Tepelná ztráta prostupem tepla přes obvodové stěny pro všechny pokoje:

$$Q_p = 1193,929W$$

**8.2.2. Tepelná ztráta prostupem tepla přes strop**

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (7)

$$Q_o = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 0,2 \cdot 13,08 \cdot (20 - (-6)) = 68,016W$$

Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla:

Dle vzorce (6)

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2) = 68,016 \cdot (1 + 0,03 + 0) = 70,05648W$$

Tepelná ztráta prostupem tepla přes strop pro všechny pokoje:

$$Q_p = 500,0967W$$

**8.2.3. Tepelná ztráta prostupem tepla přes podlahu**

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (7)

$$Q_o = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 0,4 \cdot 13,08 \cdot (20 - 5) = 78,48W$$

Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla:

Dle vzorce (6)

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2) = 78,48 \cdot (1 + 0,06 + 0) = 83,1888W$$

Tepelná ztráta přes podlahu pro všechny pokoje pak:

$$Q_p = 584,9703W$$

**8.2.4. Tepelná ztráta prostupem tepla přes okna a dveře**

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (7)

$$Q_o = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 1,1 \cdot 1,59975 \cdot (20 - (-15)) = 61,59038W$$

Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla:

Dle vzorce (6)

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 61,59038 \cdot (1 + 0,165 + 0 + 0) = 71,75279W$$

## TEPELNÉ ČERPADLO

Tepelná ztráta prostupem tepla přes okna a dveře pro všechny pokoje pak:

$$Q_p = 1277,959 \text{ W}$$

### 8.2.5. Celková tepelná ztráta prostupem tepla

Je to součet ztrát prostupem tepla přes stěny, strop, podlahu, okna a dveře

$$Q_p = 342,41 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta prostupem tepla pro všechny pokoje:

$$Q_p = 3556,96 \text{ W}$$

### 8.3. Tepelná ztráta větráním

Tato tepelná ztráta větráním se vypočítá pomocí vztahu:

$$Q_{VET} = 1300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{W}] \quad (10)$$

$$V_v \quad \text{objemový tok větracího vzduchu} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$t_i \quad \text{výpočetní teplota vnitřní} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$t_e \quad \text{výpočetní teplota vnější} \quad [^\circ\text{C}]$$

Po dosazení:

$$Q_{VET} = 1300 \cdot 4,75 \cdot 10^{-3} \cdot (20 - (-15)) = 216,01 \text{ W}$$

Při přirozeném větrání infiltrací se objemový tok větracího vzduchu stanoví ze vztahu:

$$V_i = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (11)$$

kde:

$$i_{LV} \quad \text{součinitel spárové průvzdušnosti} \quad [\text{m}^3/\text{m.s.Pa}^{-0,67}]$$

$$L \quad \text{délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří} \quad [\text{m}]$$

$$B \quad \text{charakteristické číslo budovy} \quad [\text{Pa}^{-0,67}]$$

$$M \quad \text{charakteristické číslo místnosti} \quad [-]$$

Po dosazení:

$$V_i = 0,00014 \cdot 5,07 \cdot 4 \cdot 0,7 = 1,987 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti oken a venkovních dveří jsou uvedeny v ČSN 73 0540-3. Celkovou délku spár uvažujeme jako součet spár mezi jednotlivými křídly

## TEPELNÉ ČERPADLO

a rámem (včetně středního sloupku). Dle normy ČSN 02 0610 stanovíme charakteristické čísla budovy a místnosti.

Kontrola intenzity výměny vzduchu infiltrací:

$$n = \frac{3600 \cdot \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M}{V_m} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (12)$$

Kde:

$$V_m \quad \text{objem větrané místnosti} \quad [\text{m}^3]$$

Po dosazení:

$$n = \frac{3600 \cdot 0,00014 \cdot 5,07 \cdot 4 \cdot 0,7}{35,316} = 0,203 \text{h}^{-1}$$

Což je z hygienického hlediska málo a je tedy třeba větrat, tak aby intenzita výměny vzduchu  $n$  byla nejméně  $0,5 \text{h}^{-1}$ .

Pak se objemový tok větracího vzduchu stanoví ze vztahu:

$$V_{oH} = \frac{n}{3600} \cdot V_m = \frac{0,5}{3600} \cdot 35,316 = 4,905 \cdot 10^{-3} \text{m}^3 / \text{s} \quad (13)$$

Do vztahu pro výpočet tepelné ztráty větráním (10) pak za  $V_v$  dosadíme ten objemový tok, který je větší a vyhovuje hygienické normě. V tomto případě dosadíme  $V_{oH} > V_i$ .

Tepelná ztráta větráním pro všechny pokoje:

$$Q_{VET} = 1682,7 \text{W}$$

### 8.4. Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta  $Q_c$  se spočítá součtem tepelných ztrát prostupem  $Q_p$  a tepelných ztrát větráním  $Q_v$ .

$$Q_c = Q_p + Q_{VET} = 342,41 + 223,18 = 565,57 \text{W}$$

Celková tepelná ztráta objektu:

$$Q_c = 5238,96 \text{W}$$



## 9. Potřeba tepla pro vytápění a přípravu TUV.

### 9.1. Potřeba tepla pro vytápění

Roční potřebou tepla na vytápění budovy, se rozumí potřeba tepla za otopné období, které je třeba dodat do budovy, aby bylo zajištěno předepsané vnitřní klima. Určuje se výpočtem, přičemž se vychází z tepelné ztráty objektu stanovené pro nepřerušované vytápění dle normy ČSN 06 0210 a zohledňují se klimatické podmínky, provoz vytápění, druh otopné soustavy a její vybavení regulací.

Roční potřeba tepla na vytápění budovy daná stavební konstrukcí budovy a klimatickými podmínkami:

$$Q_{VYT,r} = 24 \cdot Q_C \cdot f_1 \cdot 3,6 \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{t_{is} - t_e} \quad [\text{MJ}] \quad (14)$$

Kde:

$Q_C$	je celková tepelná ztráta	[kW]
$f_1$	je koeficient vyjadřující vliv nesoučasnosti výpočetních hodnot uvažovaných při výpočtu $Q_C$	[-]
$d$	je počet dnů otopného období	[dny]
$t_{is}$	je průměrná vnitřní teplota	[°C]
$t_{es}$	je průměrná venkovní teplota	[°C]
$t_e$	výpočtová venkovní teplota	[°C]

Po dosazení:

$$Q_{VYT,r} = 24 \cdot 5,239 \cdot 0,75 \cdot 3,6 \cdot \frac{239 \cdot (20 - 3,9)}{19 + 15} = 38421 \text{ MJ}$$

$$Q_{VYT,r} \approx \underline{\underline{10,67 \text{ MWh}}}$$

### 9.2. Potřeba tepla pro přípravu TUV

Denní potřebou tepla pro přípravu TUV, se rozumí potřeba tepelné energie pro ohřátí daného množství vody na stanovenou teplotu. Ve výpočtu jsou pak navíc zahrnuty ztráty systému pro přípravu TUV.

## TEPELNÉ ČERPADLO

Denní potřeba tepla pro přípravu TUV:

$$Q_{TUV,D} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{4p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [\text{kWh}] \quad (15)$$

Kde:

$z$	Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody. U novostaveb $z = \max. 0,5$ .	[-]
$\rho$	měrná hmotnost vody.	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c$	měrná tepelná kapacita vody.	[kJ/kg.K]
$V_{4p}$	celková potřeba teplé vody za den.	[m <sup>3</sup> /den]
$t_1$	teplota studené vody.	[°C]
$t_2$	teplota ohřáté vody.	[°C]

Po dosazení:

$$Q_{TUV,D} = (1 + 0,2) \cdot \frac{1000 \cdot 4,186 \cdot 0,328 \cdot (60 - 10)}{3600} = \underline{\underline{22,88 \text{ kWh}}}$$

Roční potřeba tepla pro přípravu TUV. Vychází z denní potřeby tepla pro přípravu TUV, ve výpočtu jsou zohledněny rozdílné teploty ohřívání vody během roku.

Roční spotřeba tepla pro přípravu TUV:

$$Q_{TUV,R} = Q_{TUV,D} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,D} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \quad [\text{kWh}] \quad (16)$$

Kde:

$d$	počet dní topného období.	[dny]
$t_{svl}$	teplota studené vody v létě.	[°C]
$t_{svz}$	teplota studené vody v zimě.	[°C]
$N$	počet pracovních dní soustavy v roce.	[dny]
$t_2$	teplota ohřáté vody.	[°C]

Po dosazení:

$$Q_{TUV,R} = 22,88 \cdot 239 + 0,8 \cdot 22,88 \cdot \frac{60 - 15}{60 - 5} \cdot (365 - 239) = 7355,3 \text{ kWh}$$

### 9.3. Celková roční potřeba tepla pro vytápění a přípravu TUV

Celková roční spotřeba tepla je dána součtem roční spotřeby tepla na vytápění a přípravu TUV.

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = 10,67 + 7,355 = 18,025 MWh$$

## 10. Návrh tepelného čerpadla

Tato kapitola se zabývá návrhem jednotlivých důležitých částí tepelného čerpadla a otopného systému tak, aby na závěr kapitoly bylo možné vybrat ideální tepelné čerpadlo pro objekt (viz kap. 8.1).

### 10.1. Stanovení tepelného výkonu TČ:

Topný výkon tepelného čerpadla je dán součtem tepelné ztráty objektu a tepelné energie potřebné pro přípravu TUV. Výkon pro pokrytí tepelné ztráty a přípravu TUV je třeba navýšit tak aby TČ tuto energii dodalo v nízkém tarifu trvajícím 22 hodin denně.

$$Q_N = \frac{24 \cdot Q_c}{22} + \frac{Q_{TUV,d}}{22} \quad [kW] \quad (17)$$

Po dosazení:

$$Q_N = \frac{24 \cdot 5,24}{22} + \frac{22,88}{22} = 6,76 kW$$

### 10.2. Stanovení provozního způsobu vytápění

Pro tento objekt volím monoenergetický způsob provozu. Tepelné čerpadlo bude pokrývat veškeré potřeby tepla pro vytápění a přípravu TUV. V extrémních případech, kdy okolní teplota klesne pod  $-15^{\circ}C$  bude k TČ připojen zabudovaný elektrokotel.

### 10.3. Návrh otopného systému

Stávající otopný systém je „dvoutrubkový“ s nuceným oběhem vody a s tepelným spádem  $75^{\circ}C/65^{\circ}C$ . Jelikož není ekonomicky výhodné navrhovat TČ s výstupní teplotou  $75^{\circ}C$  a přestavba otopného systému je také značně nákladná. Je proto nutné stávající otopný systém upravit tak, aby jeho vstupní teplota byla max.  $60^{\circ}C$ . Proto je zapotřebí spočítat, jestli je možno nastavit stávající otopný systém na tepelný spád  $60^{\circ}C/50^{\circ}C$ . Pro tento výpočet byl použit software firmy KORADO, která dodala radiátory do objektu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 10.1..

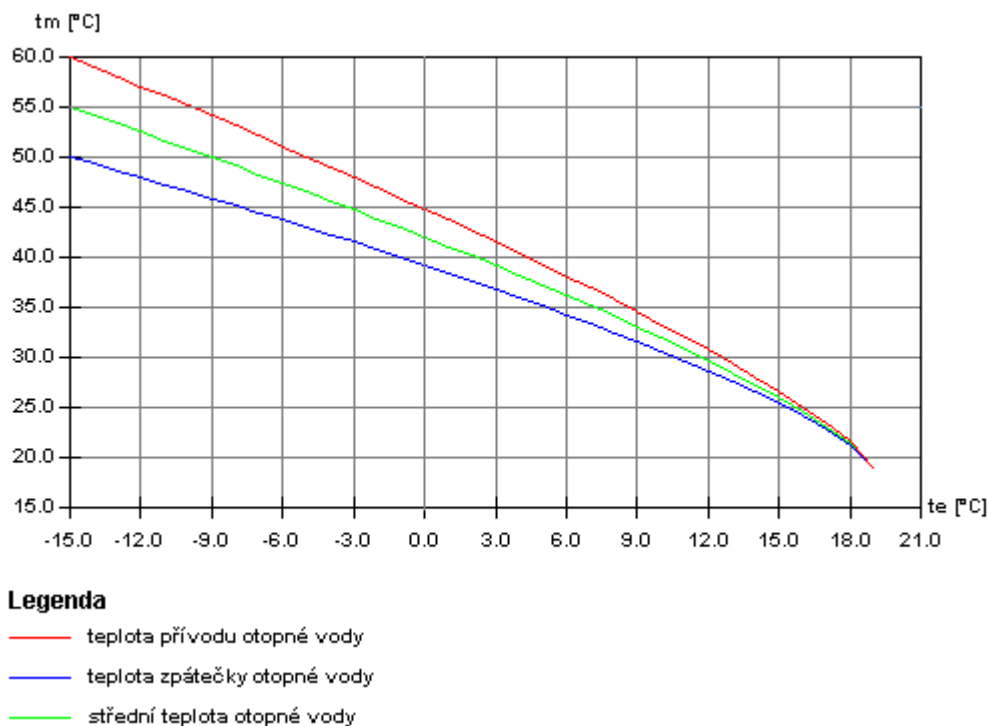
# TEPELNÉ ČERPADLO

Číslo a název místnosti	Počet topných těles.	$Q_C$ [W]	$Q_R$ při 75/65 [W]	$Q_R$ při 60/50 [W]	$Q_C - Q_R$ 75/65 [W]	$Q_C - Q_R$ 60/50 [W]
1 ZÁDVEŘÍ	1	264,239	644	399	379,761	134,761
2 WC	0	103,264	-	-	-103,264	-103,264
3 CHODBA	1	82,713	644	399	561,287	316,287
4 LOŽNICE	1	728,07	1417	877	688,93	148,93
5 KOUPELNA	1	289,812	708	500	418,188	210,188
6 SPÍŽ	0	138,552	-	-	-138,552	-138,552
7 KUCHYNĚ	1	458,037	1288	797	829,963	338,963
8 OBÝVACÍ POKOJ	2	1088,433	2318	1428	1229,567	339,567
9 ŠATNA	0	197,47	-	-	-197,47	-197,47
10 POKOJ	1	565,59	1159	717	593,41	151,41
11 GARÁŽ	1	1323,468	1159	717	-164,468	-606,468
CELKEM	9	5239,65	9337	5834	4097,35	594,35

**Tab. 10.1** – hodnoty tepelných výkonů  $Q_R$  topných těles a tepelných ztrát místností

Výsledkem je zjištění, že stávající topná soustava bude schopna vytopit objekt i s topnou vodou o teplotě 60°C. Topná soustava byla naštěstí značně naddimenzovaná viz. tab. č.10.1.

## TEPELNÉ ČERPADLO



**graf 10.1** – ekvitemnní křivka 60°C/50°C [6]

### 10.4. Určení nízkopotencionálního zdroje tepla

Jelikož objekt stojí na pozemku o výměře  $1071 \text{ m}^2$  z čehož zpevněné a zastavěné plochy zabírají pouze  $202,5 \text{ m}^2$ . Další výhodou je stav půdy, která je vlhká a ulehlá. To znamená, že z  $\text{m}^2$  by byl teoreticky možný energetický zisk až  $30 \text{ W}$ . Rozhodl jsem se pro využití nízkopotencionálního tepla země pomocí horizontálního plošného kolektoru (viz. Kap. 5.4.).

### 10.5. Volba typu TČ

Na našem trhu se prodejem tepelných čerpadel zabývá řada firem. Při průzkumu trhu jsem dospěl k závěru, že vhodná TČ by byly od firem STIEBEL-ELTRON a IVT. Nakonec jsem se rozhodl zvolit TČ firmy IVT a to typ Greenline E z důvodu menších požadavků na prostor kotelny a také pro jeho lepší topný faktor a nižší hlučnost.

IVT Greenline E je navrženo pro vytápění rodinných domů s tepelnou ztrátou do  $25 \text{ kW}$ . Tepelné čerpadlo IVT Greenline E je vybaveno japonskými kompresory Mitsubishi Electric, které výrazně snižují spotřebu elektrické energie tepelného čerpadla a jsou i výrazně tišší než konkurenční výrobky. Tepelné čerpadlo IVT Greenline E dokáže ohřívat topnou vodu až na  $65 \text{ °C}$  bez použití elektrokotle. Ohřev teplé užitkové vody je u tohoto typu tepelného čerpadla řešen v samostatném zásobníku teplé vody, což je výhodné

## TEPELNÉ ČERPADLO

v případě zvýšených požadavků na množství teplé vody. Díky vestavěné regulaci přizpůsobuje tepelné čerpadlo samo svůj chod venkovní teplotě a provoz je díky tomu plně automatický.[11]

TYP	ITV GREENLINE E7
rozsah použití zdroje tepla [°C]	-5 až +20
max. teplota topné vody [°C]	65°C
výška x šířka x hloubka [mm]	600 x 600 x 1800
Chladivo	R407C
<b>výkonová data</b>	
teplota zdroje tepla [°C]	0
teplota topné vody [°C]	50
topný výkon [kW]	6,9
elektrický příkon [kW]	2,1
výkonové číslo $\varepsilon$ [-]	3,3
<b>CENA včetně příslušenství [Kč]</b>	219600

**Tab. 10.2** - technické údaje TČ

Podrobnější tabulka s technickými údaji je obsažena v příloze č. 4.

### INSTALOVÁNO UVNITŘ:

- Kompresor Scroll (Mitsubishi Electric)
- Elektrický kotel s kaskádním spínáním o výkonu 3 - 6 - 9 kW
- Ekvitermní regulátor REGO 637 s řízením 2 topných okruhů, dotopového kotle, ohřevu teplé vody v zásobníku, diagnostikou poruch, ochranou proti legionele, časovým řízením, ovládáním signálem HDO a dalšími funkcemi. Komunikace v českém jazyce.
- Oběhová čerpadla WILO primárního i sekundárního okruhu
- Pružné hadice pro tlumení chvění tepelného čerpadla
- Tlumící kryt kompresoru
- Ochranná anoda v zásobníku teplé vody

## TEPELNÉ ČERPADLO

V PŘÍSLUŠENSTVÍ (zahrnuto v ceně):

- Expanzní nádoba a pojistný ventil primárního okruhu, filtry pro primární i sekundární okruh (filterball), plnicí sestava
- Venkovní čidlo pro ekvitermní regulátor a čidlo pro ohřev teplé vody

### 10.6. Volba akumulční nádrže a nádrže pro přípravu TUV

Akumulační nádrž bude obstarávat dodávku topné vody do systému v době vysokého tarifu, kdy bude TČ odstaveno. Jelikož jsou prostory kotelny značně omezené, rozhodl jsem se použít kombinovanou nádrž. Jedná se o nádrž firmy IVT typ Combitank IVT 200 FR obsahující zásobník teplé vody, akumulční zásobník topné vody, oběhové čerpadlo, pojistný ventil a expanzní nádobu topného systému.

objem TUV	Celkový objem	Objem akumulátoru	Rozměry	Cena vč. DPH
[ l ]	[ l ]	[ l ]	[ mm ]	[ Kč ]
185	225	80	600x648x1870	72000

**Tab. 10.3** – technické parametry Combitank IVT 200 FR

### 10.7. Potřebná plocha pro plošný kolektor:

Vycházíme z chladicího výkonu, který určíme ze vztahu:

$$Q_V = Q_K - Q_{KO} \quad [\text{kW}] \quad (18)$$

Po dosazení:

$$Q_V = 6,9 - 2,1 = 4,8 \text{ kW}$$

Plocha kolektoru pak vychází ze vztahu:

$$S = \frac{Q_V}{q_z} \quad [\text{m}^2] \quad (19)$$

Kde:

$$q_z \quad \text{je tepelný výkon získaný z m}^2 \text{ zeminy} \quad [\text{W/m}^2]$$

Po dosazení:

$$S = \frac{4800}{25} = 192 \text{ m}^2$$

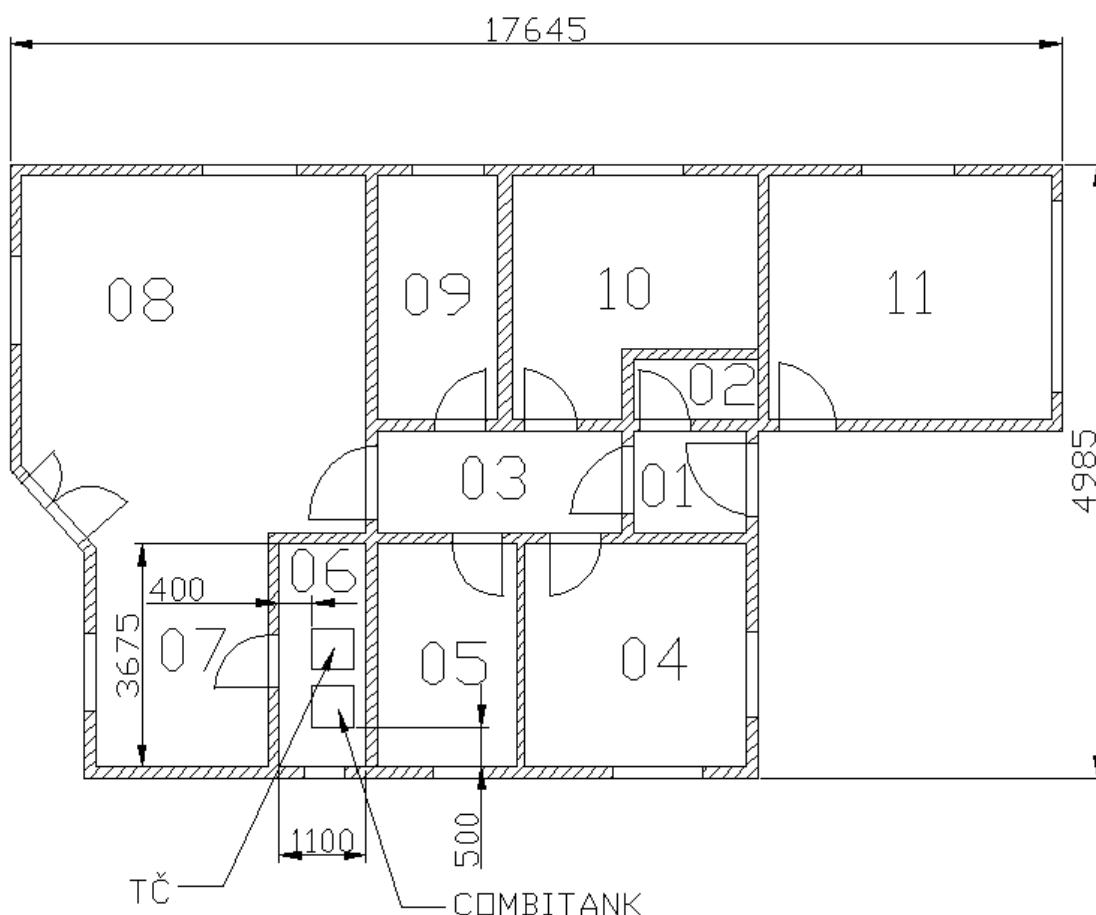
Volím  $S = \underline{210 \text{ m}^2}$

Orientační cena horizontálního kolektoru:

Dodavatelé TČ nabízejí pokládku kolektoru i s výkopovými pracemi v rozmezí 150 až 250kč/m<sup>2</sup>. V tomto návrhu budu raději počítat s o něco vyšší cenou a to 215kč/m<sup>2</sup>. Za celý kolektor by pak náklady neměly výrazně přesáhnout **45000,-kč**.

### 10.8. Umístění systému vytápění s přípravou TUV pomocí TČ v objektu

Nejpraktičtější umístění systému je na místo stávajícího kotle na zemní plyn v místnosti spíže. Výhodou tohoto umístění je hlavně možnost připojení TČ na stávající otopnou soustavu a snadný vývod trubek z objektu k primárnímu okruhu horizontálního kolektoru. Nový systém má větší požadavky na prostor než kotel na zemní plyn. Bude se tedy muset přistoupit k tomu, že spíž už nebude sloužit k uskladňování potravin a bude se pro tento účel muset vybrat jiný prostor.



**Obr. 10.1** – schéma umístění systému vytápění a ohřevu TUV



## TEPELNÉ ČERPADLO

ČÍSLO MÍSTNOSTI	NÁZEV MÍSTNOSTI
01	ZÁDVEŘÍ
02	WC
03	CHODBA
04	LOŽNICE
05	KOUPELNA
06	SPÍŽ
07	KUCHYNĚ
08	OBYVACÍ POKOJ
09	ŠATNA
10	DĚTSKÝ POKOJ
11	GARÁŽ

**Tab. 10.4** – legenda místností k Obr. 10.1

## 11. Spotřeba elektrické energie TČ

### 11.1. Spotřeba elektřiny pro vytápění

Tepelná potřeba pro vytápění tedy bude do teploty okolí -15°C pokryta pouze výkonem tepelného čerpadla. Příkon elektrokotle v tomto výpočtu neuvádím, jelikož se jedná pouze o záložní zdroj.

$$P_{1,VYT} = \frac{Q_{VYT,r}}{\varepsilon_t} \quad [\text{MWh}] \quad (20)$$

Kde:

$\varepsilon_t$                       průměrný topný faktor TČ po dobu topné sezóny.                      [-]

Po dosazení:

$$P_{1,VYT} = \frac{10,67}{3} = \underline{\underline{3,05 \text{ MWh}}}$$

## 11.2. Spotřeba elektřiny TČ pro přípravu TUV

Výpočet spotřeby elektřiny TČ pro ohřev TUV provedeme ve dvou krocích. V prvním kroku vypočteme spotřebu elektřiny mimo topné období a v druhém kroku vypočteme spotřebu elektřiny v topném období.

Výpočet potřeby tepla pro přípravu TUV v letním období:

Dle vztahu (15):

$$Q_{TUV,L} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \cdot d_l \quad [\text{kWh}]$$

Kde:

$t_1$  teplota studené vody v letním období  $[\text{°C}]$

$t_2$  teplota ohřáté vody  $[\text{°C}]$

$d_l$  počet dní letního období  $[\text{dny}]$

Po dosazení:

$$Q_{TUV,L} = (1 + 0,2) \cdot \frac{1000 \cdot 4,186 \cdot 0,328 \cdot (60 - 15)}{3600} \cdot 126 = \underline{\underline{2595 \text{ kWh}}}$$

Příkon TČ pro přípravu TUV v letním období:

$$P_{l,TUV,L} = \frac{Q_{TUV,L}}{\varepsilon_l} \quad [\text{MWh}] \quad (21)$$

Kde:

$\varepsilon_l$  průměrný topný faktor TČ po dobu letní sezóny  $[-]$

Po dosazení:

$$P_{l,TUV,L} = \frac{2595}{3,5} = 0,741 \text{ MWh}$$

V topné sezóně pak:

$$Q_{TUV, TOP} = Q_{TUV, R} - Q_{TUV, L} \quad [\text{MWh}] \quad (22)$$

Po dosazení:

$$Q_{TUV, TOP} = 7,355 - 2,595 = 4,76 \text{ MWh}$$

Příkon TČ pro přípravu TUV v období topné sezóny:

$$P_{1,TUV, TOP} = \frac{4,76}{3} = 1,587 MWh$$

### 11.3. Celková roční spotřeba elektrické energie pro vytápění a přípravu TUV

Výsledná spotřeba elektrické energie TČ pro vytápění a ohřev TUV je dána součtem příkonů pro vytápění a ohřev TUV.

$$P_{1,C} = P_{1,VYT} + P_{1,TUV,L} + P_{1,TUV, TOP} \quad [MWh] \quad (23)$$

Po dosazení:

$$P_{1,C} = 3,05 + 0,741 + 1,587 = 5,351 MWh$$

## 12. Návratnost projektu

### 12.1. Nová sazba ceny za elektřinu

Po zakoupení tepelného čerpadla je možno využívat výhodné sazby ceny elektrické energie. Sazba D56d je dvoutarifová sazba pro vytápění s tepelným čerpadlem uvedeným do provozu od 1. dubna 2005 a operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin.

### 12.2. Cena elektřiny za roční provoz TČ včetně spotřeby domácnosti

Cena elektrické energie pro chod TČ:

$$N_{TČ} = P_{1,C} \cdot N_{NÍZKÝ} + 12 \cdot N_{JISTIČ} \quad [Kč] \quad (24)$$

Kde:

$N_{NÍZKÝ}$  je cena 1MWh v nízkém tarifu [Kč]

$N_{JISTIČ}$  je měsíční poplatek za jistič [Kč]

Po dosazení:

$$N_{TČ} = 5,351 \cdot 2342,21 + 12 \cdot 390 = 17213,2 Kč$$

Cena elektrické energie pro chod domácnosti:

$$N_{DOM, SP, D56d} = P_{1, DOM, NÍZKÝ} \cdot N_{NÍZKÝ} + P_{1, DOM, VYSOKÝ} \cdot N_{VYSOKÝ} \quad [Kč] \quad (25)$$

Kde:

$N_{VYSOKÝ}$  je cena 1MWh ve vysokém tarifu [Kč]

$P_{1,DOM}$  je spotřeba domácnosti v nízkém a vysokém tarifu [MWh]

Po dosazení:

$$N_{DOM,SP,D56d} = 5,805 \cdot 2342,21 + 0,2 \cdot 2904,21 = 14177,3 \text{ Kč}$$

### 12.3. Cena elektřiny za spotřebu domácnosti před instalací TČ

Před instalací TČ je dům se spotřebou elektrické energie 6,005 MWh/rok řazen do jednotarifové sazby D02d pro střední spotřebu elektrické energie.

$$N_{DOM,SP,D02d} = P_{1,DOM,SPOT} \cdot N_{D02d} + 12 \cdot N_{JSTIČ} \quad [\text{Kč}] \quad (26)$$

Kde:

$N_{D02d}$  je cena 1MWh v tarifu D02d [Kč]

Po dosazení:

$$N_{DOM,SP,D02d} = 6,005 \cdot 4482,02 + 12 \cdot 158,27 = 28813,7 \text{ Kč}$$

### 12.4. Cena zemního plynu potřebného k vytápění a ohřevu TUV

Náklady na vytápění zemním plynem ve stávajícím kotli BAXI MAIN 24Fi při spotřebě 2168 m<sup>3</sup>/rok, jsou **27342 Kč/rok**.

### 12.5. Porovnání ročních nákladů na vytápění a přípravu TUV

Pro přehlednost jsou roční náklady porovnány v následující tabulce 12.1.

Druh topné jednotky	Tepelné čerpadlo IVT GREENLINE E7	KOTEL NA ZEMNÍ PLYN BAXI MAIN 24Fi
Cena spotřebované elektrické energie (paliva) [Kč]	17213,2	27561
Náklady na spotřebu elektrické energie domácnosti [Kč]	14177,3	28813,7
Celkové náklady [Kč]	31390,5	56374,7
Rozdíl [Kč]	24984,2	

**Tab. 12.1** – Porovnání ročních nákladů za energii

## 12.6. Investiční náklady

Investiční náklady jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 12.2.

Druh zařízení (práce)	Cena [Kč]
Tepelné čerpadlo IVT GREENLINE E7	219600
Nádrž Combitank IVT 200 FT	72000
Kolektor + výkopové práce	45000
<b>Celkem</b>	<b>336600</b>

**Tab. 12.2** – Investiční náklady

Celkové investiční náklady na pořízení TČ s příslušenstvím a výkopem zemního kolektoru jsou tedy dle tabulky 12.2 cca. 336600,- Kč.

## 12.7. Návratnost projektu

$$Návratnost = \frac{336600}{24984,2} \approx \underline{\underline{13,5 \text{ roku}}} \quad (27)$$

Na tepelná čerpadla země voda je možné využití dotace Zelená úsporám, pro tento projekt dotace činí 75000,-Kč. Díky tomu, se také sníží návratnost projektu

$$Návratnost = \frac{336600 - 75000}{24984,2} \approx \underline{\underline{10,5 \text{ roku}}} \quad (28)$$

## 13. Posouzení environmentálního přínosu užití TČ pro vytápění a přípravu TUV.

Při posuzování environmentálního přínosu užití TČ je nutné se řídit pokyny Fondu pro vyhodnocení navrhovaného opatření z hlediska ochrany životního prostředí.

Specifická kritéria:

- Při výpočtu ekologických přínosů zohlednit pouze přínosy, jež jsou přímo vyvolány opatřením, na které se vztahuje podpora z Fondu.
- Počítat s globálními efekty (nikoliv s efekty pouze v místě realizace).
- Pokud se jedná o zařízení tzv. "na zelené louce" (nenahrazuje konkrétní zdroj), které produkuje:

## TEPELNÉ ČERPADLO

- elektrickou energii - provést srovnání pomocí emisních koeficientů energetického mixu ČR

Typ zdroje emisí	TL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Org. látky	CO <sub>2</sub>
<b>elektřina</b> - systémové zdroje (včetně jaderných a vodních)	0.02591	0.489376	0.415698	0.0393	0.03086	325

**Tab. 13.1** – Emisní faktory pro systémovou elektřinu [kg/GJ]

- tepelnou energii - provést srovnání s fiktivním přímotopným zdrojem tepla.
  - Pokud se nahrazuje teplo z veřejného zdroje tepla, použít pro srovnání emisní koeficienty veřejného zdroje tepla, jehož teplo se nahrazuje.
  - Při výpočtu ekologických přínosů včetně VOC užívat hodnoty emisních faktorů, které jsou součástí vyhlášky 352/2002

Druh paliva	Druh topeniště	Tepelný výkon kotle	TL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Org. látky	Jednotka
<b>zemní plyn</b>	jakékoliv	do 0,2 MW	20	2.x	1600	320	64	kg/10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> spáleného plynu

**Tab. 13.2** – Hodnoty emisních faktorů pro stanovení množství emisí výpočtem při spalování paliv

- Při výpočtu CO<sub>2</sub> rovněž užívat vyhlášku 425/2004.

<b>Zemní plyn</b>	200 kg CO <sub>2</sub> /MWh výhřevnosti paliva
Elektřina	1,17 t CO <sub>2</sub> /MWh elektřiny

**Tab. 13.3** - Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého

### 13.1. Příklad výpočtu emisí TČ

Při tomto výpočtu vycházíme z tabulky 13.1. Výpočet je identický pro všechny emise způsobené TČ. Uvedený výpočet (29) stanovuje emise CO.

$$E_{CO} = CO \cdot P_{1C} \quad [\text{kg/rok}] \quad (29)$$

Kde:

$P_{1C}$  celková roční spotřeba elektrické energie TČ [GJ]

Po dosazení:

$$E_{CO} = 0,0393 \cdot 19,26 = 0,757 kg / rok$$

### 13.2. Příklad výpočtu emisí kotle na zemní plyn

Při tomto výpočtu vycházíme z tabulek 13.2 a 13.3. Vzorový výpočet bude proveden pro emise SO<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>. Výpočet ostatních znečišťujících látek je totožný s výpočtem (30).

Emise SO<sub>2</sub>:

$$E_{SO_2} = 2 \cdot x \cdot V_p \cdot 10^{-6} \quad [kg/rok] \quad (30)$$

Kde:

$V_p$  celková roční spotřeba zemního plynu [m<sup>3</sup>/rok]

$x$  Obsah síry v původním vzorku paliva [mg/m<sup>3</sup>]

Po dosazení:

$$E_{SO_2} = 2 \cdot 0,2 \cdot 2168 \cdot 10^{-6} = 0,000867 kg / rok$$

Emise CO<sub>2</sub>:

$$E_{CO_2} = \frac{200 \cdot Q_{zp}}{1000} \quad [kg] \quad (31)$$

Kde:

$Q_{zp}$  celkové dodané množství energie kotlem na zemní plyn [kWh]

$$Q_{zp} = V_p \cdot k \cdot H_s \quad (32)$$

Kde:

$k$  Přepočtový objemový koeficient. Slouží pro přepočet objemu změřeného u odběratele na objem plynu, který by byl naměřen za standardních podmínek. Za normálních podmínek je hodnota součinitele  $k = 1$  [-]

$H_s$  objemové spalné teplo. Podle dlouhodobých průměrných hodnot spalného tepla tranzitního plynu nabývá tato veličina přibližné hodnoty  $H_s = 10.5 kWh/m^3$ . [kWh/m<sup>3</sup>]

Po dosazení:

$$Q_{zp} = 2168 \cdot 1 \cdot 10,5 = 22764 kWh$$

## TEPELNÉ ČERPADLO

$$E_{CO_2} = \frac{200 \cdot 22764}{1000} = 4552,8 \text{ kg/rok}$$

### 13.3. Porovnání emisí TČ s kotlem na zemní plyn

Z tabulky 13.4 je zřejmé, že emise jsou při provozu tepelného čerpadla vyšší než emise vytvořené kotlem na zemní plyn. Je to dáno tím, že energie potřebná pro provoz TČ se vyrábí z velké části v uhelných elektrárnách, které produkují tyto emise při výrobě elektřiny.

Druh znečišťující látky	TUHÉ LÁTKY [kg/rok]	SO <sub>2</sub> [kg/rok]	NO <sub>x</sub> [kg/rok]	CO [kg/rok]	ORGANICKÉ LÁTKY [kg/rok]	CO <sub>2</sub> [kg/rok]
TEPELNÉ ČERPADLO	0,499	9,43	8	0,757	0,594	6259,5
ZEMNÍ PLYN	0,043	0,00087	3,47	0,694	0,139	4552,8

**Tab. 13.4** – porovnání emisí TČ s kotlem na zemní plyn



## 14. Závěr

V úvodních kapitolách této práce bylo objasněno fungování tepelných čerpadel vhodných pro vytápění rodinných domů. Hlavní cílem byl však návrh TČ pro zvolený rodinný dům a jeho ekonomické a environmentální zhodnocení. Postup byl následující. Nejprve bylo nutné určit potřeby tepelné energie pro vytápění a přípravu TUV. Výsledná potřeba vyšla **18,025MWh**. Poté bylo možné, navrhnout takové TČ, které tuto potřebu v tomto případě zcela pokryje svým tepelným výkonem. Bylo vybráno TČ firmy **IVT typ GREENLINE C7**. TČ je dále dovybaveno elektrokotlem, který slouží jako záložní zdroj pro případné extrémní počasí. Dále byl systém vybaven kombinovanou nádrží obsahující nádrž jak akumulární tak na přípravu TUV. Zdrojem tepla pro tento systém je země. Teplo je z ní odebíráno pomocí horizontálního plošného kolektoru. TČ bude umístěno na místo, kde se nyní v domě nachází plynový kotel. Z ekonomického hlediska je nejdůležitějším aspektem návratnost projektu a potřebné investiční náklady na realizaci. Investice tedy činily **336600,-kč** a tato suma by měla být splacena provozem TČ za **10,5 roků**. Ale to jen v případě, že nám bude poskytnuta dotace Zelená úsporám ve výši 75000kč. Bez této dotace by se návratnost vyšplhala až na 13,5 roků. Z environmentálního zhodnocení bohužel vyplývá že TČ je pro životní prostředí větší zátěží než kotel na zemní plyn viz tab.14.4. A to z toho důvodu, že celkový energetický mix v České Republice (uhelné, jaderné, vodní elektrárny) produkuje na výrobu potřebné elektrické energie pro provoz TČ větší emise než kotel na zemní plyn obstarávající stejné množství tepelné energie jako TČ. Tento projekt byl pro mne velkým přínosem, jak vědomostním, tak osobním, jelikož je velmi pravděpodobné, že bude zrealizován.

## Použitá literatura

- [ 1 ] KAMINSKÝ, J.;VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.
- [ 2 ] DVOŘÁK Z., KLAZAR L., PETRÁK J. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.
- [ 3 ] TURNER, W., C. *Energy Management Handbook*, Vyd. 1. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0-13-728098-X.
- [ 4 ] SRDEČNÝ, Z.; TRUXA, J. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Brno : ERA, 2005. 68 s. ISBN 80-7366-031-8.
- [ 5 ] KARLÍK, R.: *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada Publishing, 2009. 109 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [ 6 ] ZLATAREVA, V.: *Tepelná čerpadla*. Publikace ČEA, 2001. 40 s.
- [ 7 ] BAŠTA, J., et al. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách*. Praha: GAS, 2001. 2500 s. ISBN 80–86176–82–7.
- [ 8 ] BUFKA, A.: *Tepelná čerpadla v roce 2008*. Publikace MPO, 2009. 10 s.
- [ 9 ] TZB-info [online]. 2001-2010 [cit. 2010-05-20]. Tabulky a výpočty. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/>>. ISSN 1801-4399.
- [ 10 ] MPO [online]. 2005 [cit. 2010-05-3]. Statistiky. Dostupné z WWW: <<http://www.mpo.cz/>>.
- [ 11 ] IVT Tepelná čerpadla [online]. 2003-2010 [cit. 2010-04-23]. IVT GREENLINE ZEMĚ-VODA. Dostupné z WWW: <<http://www.cerpadla-ivt.cz/>>.
- [ 12 ] STIEBEL ELTRON [online]. 2006-2010 [cit. 2010-04-24]. Informace a projektování. Dostupné z WWW: <<http://www.stiebel-eltron.cz/>>.
- [ 13 ] ENVI [online]. 2010 [cit. 2010-04-24]. Tepelná čerpadla. Dostupné z WWW: <<http://www.envi.cz/>>.
- [ 14 ] EkoWATT [online]. 2008 [cit. 2010-04-28]. ENERGIE PROSTŘEDÍ, GEOTERMÁLNÍ ENERGIE, TEPELNÁ ČERPADLA. Dostupné z WWW: <<http://www.ekowatt.cz/>>.
- [ 15 ] RWE [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Zemní plyn a jeho druhy. Dostupné z WWW: <<http://www.rwe.cz/>>.

## TEPELNÉ ČERPADLO

- [ 16 ] KORADO [online]. 2010 [cit. 2010-04-26]. Korado Software. Dostupné z WWW:  
<<http://www.korado.cz/>>.

## Seznam příloh

- Příloha č. 1.:** Tabulky výsledků výpočtů tepelných ztrát prostupem tepla obvodovým zdivem, stropem a podlahou
- Příloha č. 2.:** Tabulka výsledků výpočtů tepelných ztrát přes okna a dveře
- Příloha č. 3.:** Tabulka výsledků výpočtů tepelných ztrát větráním
- Příloha č. 4.:** Technický list TČ IVT GREENLINE E7
- Příloha č. 5.:** Výkres – VBP 01 Schéma zapojení TČ
- Příloha č. 6.:** CD s tímto obsahem:
- text bakalářské práce
  - přílohy č. 1 až 5